(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENT- UND MARKENAMT

(12) **Offenlegungsschrift**

(10) **DE 198 21 467 A 1**

(51) Int. Cl.[6]:
G 01 P 3/02
G 01 P 3/44
G 01 D 5/04
G 01 B 7/30

(21) Aktenzeichen: 198 21 467.7
(22) Anmeldetag: 13. 5. 98
(43) Offenlegungstag: 18. 11. 99

DE 198 21 467 A 1

(71) Anmelder:
Klug, Thomas, 63762 Großostheim, DE

(72) Erfinder:
gleich Anmelder

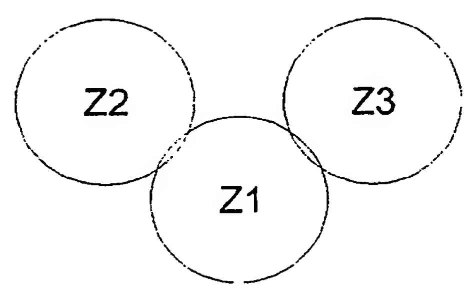
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE	39 00 270 C2
DE	32 46 959 C3
DE	195 06 938 A1
DE	34 42 345 A1
DE	27 13 579 A1
FR	26 97 081 A1
WO	88 07 655 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Zwei und mehrdimensionales Differenzengetriebe zur hochauflösenden absoluten Messung der Anzahl von Umdrehungen einer Welle

(57) Es wurde eine Vorrichtung zur hochauflösenden Messung der Anzahl von Umdrehungen entwickelt, die die Winkelpositionsstellung von 3 (bei zweidimensionalen) Zahnrädern Z1, Z2 und Z3 zueinander ausgewertet und daraus die Information über die Anzahl von Umdrehungen erhält, die Zahnrad Z1 durchgeführt hat.



DE 198 21 467 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung entsprechend dem Oberbegriff des Anspruch 1.

Damit Sensoren zur absoluten Messung der Anzahl von Umdrehungen einer Welle (Multiturn-Drehwinkelsensoren) zur Automation eingesetzt werden können, müssen diese eine hohe Auflösung (maximale unterscheidbare Anzahl von Umdrehungen ≥ 4096) besitzen. Außerdem muß das Bauvolumen klein gehalten werden.

Es ist bekannt, daß die absolute Anzahl der Umdrehungen einer Welle mit einem Untersetzungsgetriebe gemessen werden kann. Soll beispielsweise mit dem Untersetzungsgetriebe eine Anzahl von maximal 4096 Umdrehungen gemessen werden, so dreht sich eine Codescheibe mit einer Untersetzung von 4096 zu der Welle. Damit entspricht eine Umdrehung der Winkelcodescheibe 4096 : 1 der Welle. Aus der Winkelstellung der Codescheibe ergibt sich dann die Anzahl von Umdrehungen. Da Getriebe mit einer Untersetzung von 4096 zu 1 nicht in einer Stufe realisierbar sind, werden in der Regel 6 Getriebestufen eingesetzt. Jede dieser Getriebestufen muß mit einer Winkelcodescheibe und einer Sensorik versehen, die 2 Datenbit und ein Synchronbit liefert. Diese Anordnung erfordert ein hohes Bauvolumen. Außerdem muß zwischen jeder Getriebestufe eine Synchronisation stattfinden, die eine schnelle (< 1 µs) Bereitstellung des Meßwertes unmöglich macht. Da nur jeweils 3 Bit/Codescheibe abgetastet werden, ist kein Einsatz von platzsparenden und kostengünstigen mehrspurigen Sensoren zur Abtastung der Codescheibe möglich.

Außerdem ist bekannt, daß die absolute Anzahl von Umdrehungen mit einem eindimensionalen Differenzengetriebe gemessen werden kann. Hierbei werden zwei Zahnräder eingesetzt, die sich in der Regel in ihrer Zähnezahl um eins unterscheiden. Dabei ist Z1 direkt auf der Welle angebracht und treibt Zahnrad Z2 an. Die Winkelposition der beiden Zahnräder wird gemessen. Aus dieser Messung ergibt sich, welcher Zahn von Z1 in welche Lücke von Z2 eingreift. Aus der Kombination Zahn/Lücke ergibt sich die absolute Anzahl von Umdrehungen der Welle. Die maximale Anzahl von unterscheidbaren Umdrehungen ergibt sich, bei einem Zähnezahlunterschied von 1, genau als die Zähnezahl von Z2. Diese Vorrichtung wird nur zur Messung einer geringen (< 200) Anzahl von Umdrehungen eingesetzt, da ansonsten Z2 sehr groß (bei Umax = 4096 wird Z2 40 cm groß, bei einem sehr kleinen Modul von 0,1) wird. Soll diese Vorrichtung für die Messung von 4096 oder mehr Umdrehungen eingesetzt werden, so ist ein sehr großes Bauvolumen erforderlich. Außerdem ist die Fertigung von Zahnrädern mit einem Modul < 0,3 sehr kostenaufwendig. Zudem müssen bei derart kleinen Modulen sehr hohe Anforderungen an die Lagerung der Zahnradachsen gestellt werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine einfache Vorrichtung zur hochauflösenden absoluten Messung der Anzahl von Umdrehungen einer Welle zu schaffen, die kostengünstig hergestellt werden kann, einen geringes Bauvolumen benötigt und eine schnelle (< 1 µs) Bereitstellung des Meßwertes und den Einsatz von mehrspurigen Sensoren ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruch 1 gelöst.

Zwei- und mehrdimensionale Differenzengetriebe sind die idealen Vorrichtungen zur absoluten Messung der Anzahl von Umdrehungen einer Welle, weil sie mit wenigen Zahnräder eine sehr hohe Auflösung erzielen.

Da nur 2 zusätzliche Zahnräder mit Abtastvorrichtung nötig sind, besitzt das Getriebe ein sehr kleines Bauvolumen. Da sie bei gleicher Auflösung, wie Untersetzungsgetriebe, nur 2 Zahnräder anstelle von 6 Getriebestufen benötigt, können pro Zahnrad drei mal so viele Datenspuren abgetastet werden. Dadurch ist der Einsatz von kostengünstigen und platzsparenden mehrspurigen Sensoren möglich. Außerdem verringert sich dadurch der Synchronisationsaufwand von 6 auf 2 Rechnungen. Damit sind höhere Grenzfrequenzen möglich. Durch die verringerte Zahl der Zahnräder verringert sich der Justage- und Montageaufwand deutlich. Da die Auflösung des Getriebes unabhängig von der Größe des Zahnrades ist, das direkt auf der Welle sitzt, ist das Differenzengetriebe universell für verschiedene Zahnrad- und damit Wellendurchmesser geeignet, ohne daß die angetriebenen Zahnräder angepaßt werden müssen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und im folgenden näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 Aufbau eines Differenzengetriebes mit 2 Zahnrädern.

Fig. 2 Beispiele zur Anordnung der Zahnräder im Differenzengetriebe. Bei beiden Varianten treibt das Zahnrad Z1 direkt die beiden anderen an.

Fig. 3 P1, P2 und P3 sind die Positionen, die sich bei einer vollen Umdrehung von Z1 ergeben. W2 und W3 sind die berechnete Grundkombination, die für eine bestimmte Anzahl von Umdrehungen steht. In Kammern stehen jeweils die Werte, die addiert werden, wenn die Differenz < 0 ist.

Fig. 4 Grundkombinationen (W2, W3) die für verschiedene Umdrehungszahlen n entstehen und die Formeln, um diese vorher zu sagen.

Fig. 5 Lösungsvariante zum Prinzip Differenzengetriebe mit 3 Zahnrädern. Variante Stirnräder mit Z2 und Z3 hintereinander

Fig. 6 Lösungsvariante zum Prinzip Differenzengetriebe mit 3 Zahnrädern. Variante 3 Stirnräder in einer Ebene.

Fig. 7 Lösungsvariante zum Prinzip Differenzengetriebe mit 3 Zahnrädern. Die Spindel Z1 wird als Zahnrad mit einem Zahn gesehen.

Zur besseren Verständlichkeit wird zunächst noch einmal das eindimensionale Differenzengetriebe erklärt. Die Erklärungen werden anhand von Beispielen durchgeführt.

Eindimensionales Differenzengetriebe mit 2 Zahnrädern

Beim Differenzengetriebe werden 2 Zahnräder eingesetzt, die sich in ihrer Zähnezahl um 1 unterscheiden. Eines sitzt direkt auf der zu messenden Welle und treibt das andere an. An der Winkelstellung der beiden Zahnräder zueinander läßt sich dann erkennen, wie oft sich die Welle bereits gedreht hat.

Das Funktionsprinzip der Differenzengetriebe kann am einfachsten anhand eines Beispiels erklärt werden. Dazu wählen wir 2 Zahnräder mit den Zähnezahlen Z1 = 8 und Z2 = 7, wobei Z1 direkt auf der Welle sitzt und Z2 antreibt. Zur Messung werden nun die Zähne von Z1 mit 0 bis 7 durchnumeriert und die Zahnlücken von Z2 mit 0 bis 6. Zu Beginn soll Zahn 0 (Z1) in Lücke 0 (Z2) eingreifen.

Dreht man nun Z1 einmal um 360°, so wird es um 8 Zähne weiterbewegt. Dementsprechend wird Z2 um 8 Zahnlücken weitergedreht. Dies bedeutet aber für Z2, daß es sich um 360° und 1 Lücke weiterbewegt hat. Daraus folgt, daß nun Zahn 0 in Lücke 1 greift. Umgekehrt kann man aus der Tatsache, daß Zahn 0 in Lücke 1 greift, folgern, daß die Welle sich einmal gedreht hat. Diese Beziehung ist eineindeutig, solange sich die Welle maximal 7 mal gedreht hat. Denn nach der 8. Umdrehung greift wieder Zahn 0 in Lücke 0 ein. Es ergibt sich eine maximale Anzahl von unterscheidbaren Umdrehungen von:

$U_{max} = Z21(Z1-Z2)$ (Gl. 1).

Dies bedeutet bei einem Unterschied von einem Zahn, daß die Zähnezahl von Z2 die maximal zu erfassende Umdrehungszahl angibt. Bei mindestens 4096 Umdrehungen müßten 2 Zahnräder mit 4095 und 4096 Zähnen eingebaut werden. Bei einem bereits sehr kleinen Modul von 0,1 (im Spritzguß minimal 0,3 herstellbar), ergibt dies einen Zahnraddurchmesser von über 40 cm. Aufgrund dieser großen Abmessungen kann diese Anordnung nur zu Messung von wenigen (< 200) Umdrehungen eingesetzt werden.

Zweidimensionales Differenzengetriebe mit 3 Zahnrädern

Das Zahnrad Z1, das direkt auf der Welle sitzt, treibt jetzt 2 Zahnräder Z2 und Z3 direkt an. Die 3 Zahnräder unterscheiden sich in der Zähnezahl jeweils um mindestens 1 und haben im günstigsten Fall als größten gemeinsamen Teiler (ggf.) die 1.

Die Funktionsweise soll wieder anhand eines Beispiels erklärt werden. Wir wählen Z1=8, Z2=5 und Z3=3. Es werden wieder die Zähne von Z1 von 0 bis 7 und die Lücken von Z2 und Z3 von 0 an durchnumeriert. Zu Beginn greift wieder Zahn 0 bei beiden Zahnrädern in Lücke 0. Betrachten wir nun zunächst, welche Kombinationen sich bei einer vollen Umdrehung von Z1 ergeben:

Z1	Z2	Z3	(Gl. 2)		(Gl. 3)	
P1	P2	P3	W2 = P2-P1 (+Z2)		W3 = P3-P1 (+Z3)	
0	0	0	0		0	
1	1	1	0		0	
2	2	2	0		0	
3	3	0	0		0	(+3)
4	4	1	0		0	(+3)
5	0	2	0	(+5)	0	(+3)
6	1	0	0	(+5)	0	(+6)
7	2	1	0	(+5)	0	(+6)

Figur 3 P1, P2 und P3 sind die Positionen, die sich bei einer vollen Umdrehung von Z1 ergeben. W2 und W3 sind die berechnete Grundkombination, die für eine bestimmte Anzahl von Umdrehungen steht. In Klammern stehen jeweils die Werte, die addiert werden, wenn die Differenz < 0 ist.

Diese Kombinationen aus den 3 Zahnradpositionen treten nur während der ersten Umdrehung auf. In dieser Zahlenreihe sind jedoch redundante Kombinationen enthalten. Da 8 Kombinationen für einen Wert stehen, sind 7 Kombinationen redundant. Deshalb muß eine Formel gefunden werden, um die 8 auf 1 Grundkombination zu reduzieren, um so Speicherplatz zu sparen.

Als Grundkombination wird die Kombination gewählt, bei der Zahnrad Z1 auf 0 steht. Damit muß nur noch die Kombination aus Z2 und Z3 gespeichert werden, da Z1 immer auf Null bleibt. Um aus einer beliebigen Stellung von Z1, Z2, Z3 wieder auf die Grundkombination zu kommen, dreht man in Gedanken das Zahnrad Z1 auf 0 zurück und somit Z2 und Z3 auf die Grundstellung. Als Rechenoperation bedeutet dies, daß der Positionswert P1 von Z1 jeweils von den Positionswerten P2, P3 von Z2 und Z3 abgezogen wird. Wird dabei P2 oder P3 kleiner als 0, so wird die Zähnezahl des Zahnrades so oft addiert, bis der Wert größer gleich 0 ist.

Somit ist die Kombination aus den normierten Grundwerten W2 und W3 eindeutig für eine bestimmte Anzahl von Umdrehungen und für jede Anzahl von Umdrehungen muß nur eine Kombination aus zwei Werten W2, W3 abgelegt werden.

Betrachten wir nun, welche Grundkombinationen sich für mehrere Umdrehungen von Z1 ergeben. Hierbei sind W2 und W3 wieder die normierten Werte von P2 und P3 und n steht für die Anzahl von Umdrehungen von Z1.

n	W2	W3	(Gl. 4) (n * Z1) mod[1] Z2	(Gl. 5) (n * Z1) mod Z3
0	0	0	0	0
1	3	2	3	2
2	1	1	1	1
3	4	0	4	0
4	2	2	2	2
5	0	1	0	1
6	3	0	3	0
7	1	2	1	2
8	4	1	4	1
9	2	0	2	0
10	0	2	0	2
11	3	1	3	1
12	1	0	1	0
13	4	2	4	2
14	2	1	2	1
15	0	0	0	0

Figur 4 Grundkombinationen (W2,W3) die für verschiedene Umdrehungszahlen n entstehen und die Formeln, um diese vorher zu sagen.

[1] Die mod Rechenoperation gibt als Ergebnis den Rest bei der Division von ganzen Zahlen aus, z.B. 17 mod 5 = 2 d.h. 17 geteilt durch 5 ist 3 Rest 2

Man erkennt sofort, daß nach 15 Umdrehungen wieder die Anfangskombination auftritt. Dem zu folge können durch die Auswertung der Kombinationen maximal 15 Umdrehungen unterschieden werden. Allgemein berechnet sich die maximale Zahl der unterscheidbaren Umdrehungen nach der Formel:

$$U_{max} = \frac{kgV(Z1, Z2, Z3)}{Z1} \quad \text{(Gl. 6)}$$

(kgv = kleinstes gemeinsames Vielfaches).

Wählt man aber, wie im obigen Beispiel die Zähnezahlen so, daß der größte gemeinsame Teiler von Z1, Z2, Z3 die 1 ist, so kann die Formel wie folgt vereinfacht werden:

$U_{max} = Z2 \cdot Z3$ (Gl.7).

Von größter Bedeutung ist hierbei, daß Z1 nicht in die Berechnung der maximalen Umdrehungszahl mit eingeht. Dies ergibt die Möglichkeit bei unveränderten Z2 und Z3 verschiedene Zahnradgrößen für Z1 und damit Wellendurchmesser zu wählen, ohne die Auflösung des Multiturn zu verändern.

Will man nun von den Kombinationen auf die Anzahl von Umdrehungen zurückschließen, muß man erkennen, daß es keine eindeutige mathematische Umkehrfunktion der mod Operation gibt. Deshalb wird das Gleichungssystem:

$W2=(n \cdot Z1) \bmod Z2$ (Gl.8)

$W3=(n \cdot Z1) \bmod Z3$ (Gl.9)

dadurch gelöst, daß für alle n von 0 – Umax die Werte von W2 und W3 berechnet werden und diese dann in einem zweidimensionalen Zahlenfeld abgespeichert werden:

Pos (W2, W3) = n (Gl. 10).

Die Werte W2 und W3 dienen hierbei als Speicherkoordinate in denen der Wert von n abgelegt ist. Erfaßt nun die Sensorik drei Positionen P1, P2 und P3, so wird zunächst die Grundkombination W2, W3 berechnet. Danach wird die Speicherkoordinate (W2, W3) aufgerufen, um die Anzahl von Umdrehungen zu erhalten. Daraus ergibt sich ein Speicherbedarf zur Lösung des Gleichungssystems mit

$Speicher = Z2 \cdot Z3 \cdot ld(n)$ Bit (Gl. 11)

Zur Vereinfachung der Auswertung werden für n nur ganze Byte verwendet.

Differenzengetriebe mit mehr als 3 Zahnrädern

Das Prinzip des Differenzengetriebes mit 3 Zahnräder läßt sich beliebig erweitern. Das Zahnrad Z1 wird beibehalten und treibt nun eine größere Anzahl von Zahnräder an. Wählt man die Zähnezahlen wieder so, daß der größte gemeinsame Teiler 1 ist, so erweitert sich die Auflösung auf:

$U_{max} = Z2 \cdot Z3 \cdot Z4 \cdot Z5 \cdot \ldots$ (Gl.12)

Die Auswertung der Signale erfolgt äquivalent zum eben Beschriebenen.

Das Differenzengetriebe kann in verschiedenen Varianten ausgeführt werden. Es gibt dabei die Möglichkeit die Bauart der Zahnräder (z. B. Stirnrad), die Anordnung der Zahnräder oder die Zähnezahlen zu variieren. Außerdem kann die Art der Positionserfassung der einzelnen Zahnräder variiert werden. Eine besondere Stellung nimmt die folgende Anordnung ein.

Z2, Z3 Stirnräder und Z1 als Spindel

Wird Z1 als Spindel ausgeführt, so ist dies gleichbedeutend mit einer Zähnezahl von 1. Dadurch ist es nicht erforderlich eine Normierung auf die Grundkombination vorzunehmen. Außerdem wird die Auswertung der Positionen enorm erleichtert, da zunächst die Kombination von Z1 und Z2 als normale Untersetzung gesehen werden kann. Damit zeigt die Position von Z2 direkt eine Anzahl von Umdrehungen an. Wählt man nun die Zähnezahl von Z3 um 1 kleiner als Z2, so kann Z2, Z3 als Differenzengetriebe gesehen werden (z. B. Z1 = 1, Z2 = 128, Z3 = 127) => Umax = 16256). Die Auswertung kann dann direkt mit den ganzzahligen Werten von P2, P3 durch die folgende Formel durchgeführt werden:

$n = P2 + Z2 \cdot (P3 - P2)$.

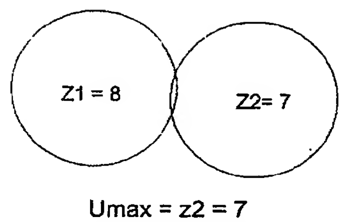
Patentansprüche

1. Vorrichtung zum messen der Anzahl von Umdrehungen einer Welle (Z1), **dadurch gekennzeichnet**, daß ein zwei-, oder mehrdimensionales Differenzengetriebe eingesetzt wird.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eines, oder alle Zahnräder als Stirnräder ausgeführt sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß eines oder mehrere Zahnräder als innenverzahntes Zahnrad ausgeführt sind.
4. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eines oder mehrere Zahnräder als Zahnriemen ausgeführt sind.
5. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eines oder mehrere Zahnräder als Spindel ausgeführt ist.
6. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Zahnräder in einer Ebene angeordnet sind.
7. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwei oder mehr Zahnräder hintereinander angeordnet sind.

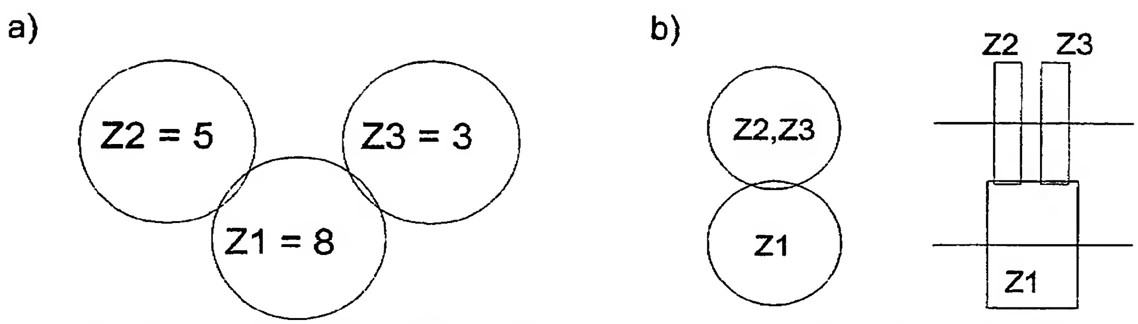
Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

Nummer: DE 198 21 467 A1
Int. Cl.⁶: G 01 P 3/02
Offenlegungstag: 18. November 1999

Zeichnungen



Figur 1 Aufbau eines Differenzengetriebes mit 2 Zahnrädern



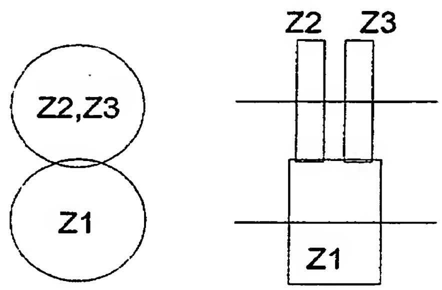
Figur 2 Beispiele zur Anordnung der Zahnräder im Differenzengetriebe. Bei beiden Varianten treibt das Zahnrad Z1 direkt die beiden anderen an.

Z1	Z2	Z3	(Gl. 2)		(Gl. 3)	
P1	P2	P3	W2 = P2-P1 (+Z2)		W3 = P3-P1 (+Z3)	
0	0	0	0		0	
1	1	1	0		0	
2	2	2	0		0	
3	3	0	0		0	(+3)
4	4	1	0		0	(+3)
5	0	2	0	(+5)	0	(+3)
6	1	0	0	(+5)	0	(+6)
7	2	1	0	(+5)	0	(+6)

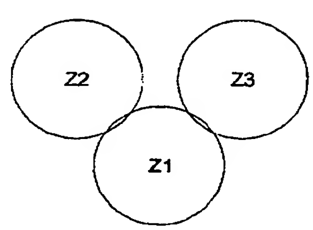
Figur 3 P1, P2 und P3 sind die Positionen, die sich bei einer vollen Umdrehung von Z1 ergeben. W2 und W3 sind die berechnete Grundkombination, die für eine bestimmte Anzahl von Umdrehungen steht. In Klammern stehen jeweils die Werte, die addiert werden, wenn die Differenz < 0 ist.

n	W2	W3	(Gl. 4) (n * Z1) mod[3] Z2	(Gl. 5) (n * Z1) mod Z3
0	0	0	0	0
1	3	2	3	2
2	1	1	1	1
3	4	0	4	0
4	2	2	2	2
5	0	1	0	1
6	3	0	3	0
7	1	2	1	2
8	4	1	4	1
9	2	0	2	0
10	0	2	0	2
11	3	1	3	1
12	1	0	1	0
13	4	2	4	2
14	2	1	2	1
15	0	0	0	0

Figur 4 Grundkombinationen (W2,W3) die für verschiedene Umdrehungszahlen n entstehen und die Formeln, um diese vorher zu sagen.



Figur 5 Lösungsvariante zum Prinzip Differenzengetriebe mit 3 Zahnrädern. Variante Stirnräder mit Z2 und Z3 hintereinander

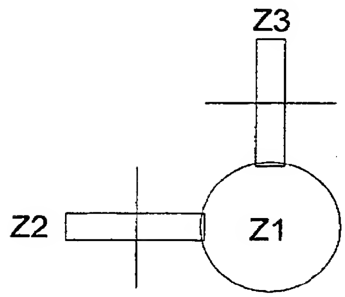


Figur 6 Lösungsvariante zum Prinzip Differenzengetriebe mit 3 Zahnrädern. Variante 3 Stirnräder in einer Ebene.

---

[3] Die mod Rechenoperation gibt als Ergebnis den Rest bei der Division von ganzen Zahlen aus, z.B. 17 mod 5 = 2 d.h. 17 geteilt durch 5 ist 3 Rest 2

Nummer: DE 198 21 467 A1
Int. Cl.[6]: G 01 P 3/02
Offenlegungstag: 18. November 1999



Figur 7 Lösungsvariante zum Prinzip Differenzengetriebe mit 3 Zahnrädern. Die Spindel Z1 wird als Zahnrad mit einem Zahn gesehen.